

**ANALISIS DIMENSI LENGAN PADA MODEL RANCANGAN  
RENOGRAF THYROID UPTAKE TERPADU**

Sanda

PRFN-BATAN, Kawasan Puspiptek Gd 71, Tangerang Selatan - 15310

**ABSTRAK**

**ANALISIS DIMENSI LENGAN PADA MODEL RANCANGAN RENOGRAF THYROID UPTAKE TERPADU.** Model rancangan lengan renograf thyroid uptake terpadu sudah dibuat. Lengan merupakan salah satu komponen utama renograf thyroid uptake yang fungsinya untuk membawa kolimator ke posisi penyakit berada. Satu perangkat renograf thyroid uptake terpadu dalam rancangan ini mampu mendiagnosis dua fungsi organ, yaitu ginjal dan kelenjar gondok. Pada analisis ini yang menjadi masalah adalah menentukan diameter lengan dan jangkauannya yang optimal agar dihasilkan konstruksi mekanik yang mudah dioperasikan oleh operator. Untuk mengevaluasi kekuatan lengan akibat beban kolimator dan detektor, perlu dilakukan analisis model rancangan lengan renograf thyroid uptake terpadu. Hasil perhitungan secara analitik, pada geometrik diameter luar tangkai lengan yang diperoleh sebesar Ø60 mm, Ø48 mm, Ø42 mm dan Ø33 mm dengan displacement total pada tangkai sebesar 0,13 mm. Hasil yang diharapkan adalah lengan renograf thyroid uptake yang terkena beban sebesar 100 kg, pada panjang 600 mm, material mekaniknya dapat terjamin kekuatannya. Teknik yang digunakan, yaitu dengan cara membandingkan tegangan bengkok dan tegangan puntir yang terjadi terhadap tegangan tarik ijin bahan, sehingga konstruksi lengan renograf thyroid uptake terpadu bisa dijamin keamanannya.

Kata kunci : analisis, rancangan, lengan, renograf, thyroid uptake.

**ABSTRACT**

**DIMENSIONAL ANALYSIS OF ARMS ON THE INTEGRATED RENOGRAF THYROID UPTAKE MODEL DESIGN.** An arm design on the integrated renograf thyroid uptake has been made. The arm is one of the main components renograf thyroid uptake that function is to bring the collimator to position where the disease is located. The integrated renograf thyroid uptake is one equipment which is designed to be able to diagnose two organ functions, kidney and thyroid functions. The problem for the arm is that to have the optimal dimensions in order to produce the mechanical construction which is easily operated by the operator. To evaluate the arm strength due to colimator and detector loads, it is necessary to determine the arm dimensions in an analytic way. The analytic calculation results show that the geometric outer diameter shaft sleeve obtained by Ø60 mm, Ø48 mm, Ø42 mm and Ø33 mm with a total displacement on the stem of 0.13 mm. The expected result is that the arm of thyroid uptake having the load of 100 kg, the length 600 mm, it strength of material mechanically can be guaranteed. The technique to be used is by comparing the bending stress and torsional stress to the material tensile stress permits, so that the arm construction of the renograf thyroid uptake can be assuredly secure.

Key words : analysis, design, arm, renograf, thyroid uptake.

## 1. PENDAHULUAN

Perangkat *renograf* dan *thyroid uptake* yang terpadu merupakan keinginan banyak para dokter spesialis nuklir maupun operator di rumah sakit. Apabila perangkat ini bisa diwujudkan secara sempurna tentunya akan memberikan sumbangsih yang cukup besar dalam dunia kedokteran. Oleh karena itu ide mewujudkan perangkat *renograf thyroid uptake* terpadu sangat baik untuk dilakukan.

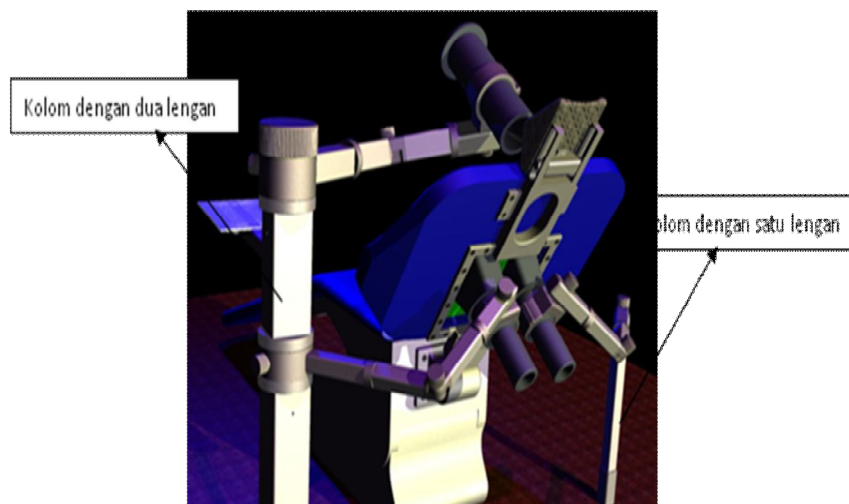
Pada perangkat *renograf thyroid uptake* terpadu terdapat komponen utama yang sangat menentukan kinerja sistem mekanik perangkat ini, yaitu pada lengan. Secara mekanik, sambungan lengan banyak bentuknya, diantaranya *angkle joint*, *paralel joint*, bisa juga dengan sistem sambungan poros penghubung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan komponen lengan perangkat *renograf thyroid uptake* yang ringan dan fleksibel, sehingga mudah mencapai posisi pasien.

Adapun hasil yang diharapkan adalah diperoleh geometrik lengan *renograf thyroid uptake* berdasarkan perhitungan secara analitik, sehingga diperoleh nilai diameter lengan dengan sistem sambungan, juga diperoleh harga *displacement* lengan yang menunjukkan, bahwa lengan mampu menahan beban yang bekerja.

## 2. TEORI

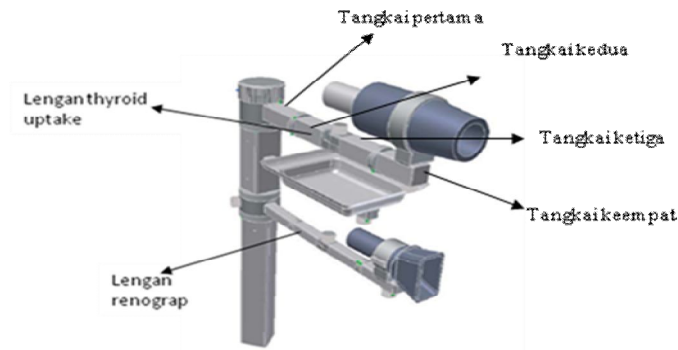
### 2.1. Perangkat *renograf thyroid uptake*

Perangkat *renograf thyroid uptake* mempunyai tiga detektor, masing-masing detektor dilengkapi dengan lengan. Dua lengan bertumpu pada sebuah kolom dan satu lengan bertumpu pada kolom lainnya. Ketiga lengan tersebut mempunyai desain yang serupa, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



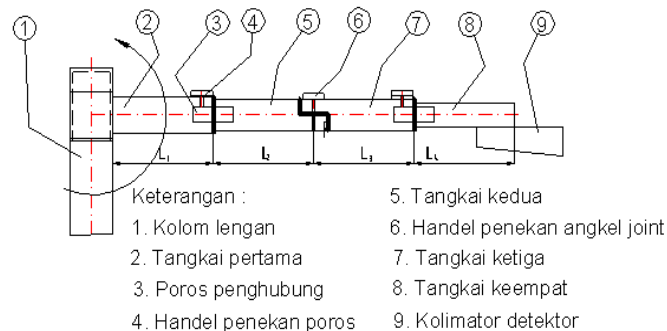
Gambar 1. Perangkat *renograf thyroid uptake* dengan tiga detektor

Konstruksi lengan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi lengan *renograf* dan *thyroid uptake*

Pada masing-masing lengan terdiri atas empat tangkai dan empat buah sambungan. Tangkai pertama terhubung dengan kolom dengan sistem sendi, sehingga lengan dapat berotasi terhadap kolom. Tangkai pertama dan kedua dihubungkan dengan poros sehingga tangkai kedua dapat berputar relatif terhadap tangkai pertama. Tangkai ketiga dan kedua dihubungkan dengan model engsel, kedua tangkai dapat ditekuk dan membentuk sudut (arah gerakan). Tangkai ketiga dan keempat dihubungkan dengan poros. Sketsa lengan *renograf* atau lengan *thyroid uptake* ditunjukkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa lengan *renograf thyroid uptake* terpadu.

## 2.2. Pemodelan Analitik

Lengan harus mampu menahan beban pada ujung yang berupa kolimator detektor. Bila keempat tangkai berada dalam satu garis, maka beban tersebut akan menghasilkan momen bending. Dan bila tangkai kedua dan ketiga membentuk sudut, beban tersebut akan mengakibatkan tegangan torsi di sepanjang tangkai pertama dan kedua.

### 2.2.1. Momen Bending

Pada konstruksi lengan *renograf thyroid uptake*, perhitungan dilakukan pada panjang seluruh lengan, pada pertengahan lengan dan pada satu lengan. Sehingga dari Gambar 3 diperoleh sebuah simulasi batang yang pangkalnya dijepit dan ujungnya diberi beban ( $F$ ) seperti Gambar 4.a. Dari gambar ini dihasilkan *free body diagram* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.b.



Gambar 4.a. Gaya lintang ( $F$ ) akan menyebabkan momen di titik A



Gambar 4.b. *Free body* diagram pada lengan dengan beban F

Dari free body diagram di atas dapat dihasilkan persamaan statika sebagai berikut <sup>[1]</sup>:

$$\begin{aligned}\sum M_a &= 0 \\ -M_a + F.L &= 0 \\ M_a &= F.L \dots\dots\dots (1)\end{aligned}$$

dengan :

$M_a$  : Momen yang terjadi pada titik A, kg.mm  
F : beban pada ujung lengan renograp *thyroid uptake*  
L : panjang lengan dari titik A ke B

Momen di sepanjang lengan menjelaskan tegangan bengkok ( $\sigma_b$ ) seperti ditunjukkan dalam persamaan berikut <sup>[1,2]</sup> :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \dots\dots\dots (2)$$

$$W_b = \frac{\pi}{32} \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right) \dots\dots\dots (3)$$

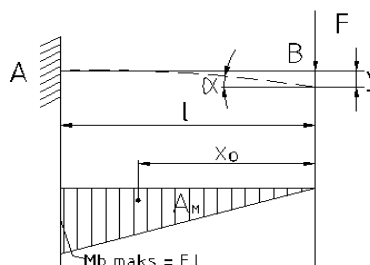
dengan :

$\sigma_b$  : tegangan bengkok bahan, kg/mm<sup>2</sup>  
 $M_b$  : Momen bengkok yang terjadi pada lengan, kgmm  
 $W_b$  : momen tahan bengkok bahan, mm<sup>3</sup>  
D : diameter luar lengan, mm  
d : diameter dalam lengan, mm

Tegangan bengkok perlu dikoreksi dengan faktor keamanan 2 kali lipat dan kemudian dibandingkan batas tegangan material yang diijinkan ( $\bar{\sigma}_t$ ). Desain dapat dinyatakan aman, apabila memenuhi persamaan berikut :

$$3\sigma_b \leq \bar{\sigma}_t \dots\dots\dots (4)$$

Untuk mengevaluasi pertengahan panjang, atau pada satu tangkai dilakukan dengan menggunakan persamaan yang sama, yaitu persamaan 1 dan 2. Ujung tangkai yang dibebani kolimator (F) akan mengalami lenturan/*displacement*. Besarnya *displacement* tergantung pada besar beban dan bentuk penampang batang serta bahan yang digunakan. Adanya *displacement* yang menyebabkan batang atau lengan menimbulkan sudut *displacement* ( $\alpha$ ), sebagaimana ditunjukkan Gambar 5. Besarnya *displacement* diberikan oleh persamaan 5 :



Gambar 5. Lengan yang mengalami pembebanan akan melentur (*displacement*)

Untuk  $M_b \text{ maks} = F.L$ , maka diperoleh harga *displacement* sebagai berikut<sup>[1]</sup>:

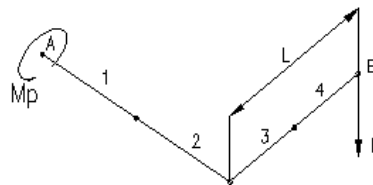
$$y = \frac{F.L^3}{3.E.I} \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

- y : besarnya displacement lengan, mm
- L : panjang lengan, mm
- E : modulus elastis bahan, N/mm<sup>2</sup>
- I : momen inertia, mm<sup>4</sup>

#### 2.2.2. Momen puntir

Momen puntir terjadi pada tangkai pertama dan kedua, bila tangkai ketiga dan keempat membentuk sudut terhadap tangkai satu dan dua membentuk sudut 90° dengan posisi horisontal. *Free body diagram* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Free body diagram* beban kolimator

dengan :

- $M_p$  : momen puntir akibat beban kolimator, Nmm
- L : panjang lengan, mm
- A : titik pada pangkal engsel
- B : titik pada ujung engsel

Tegangan puntir pada poros penghubung dan lengan putar dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\bar{\tau}_p = \frac{M_p}{W_p} \dots\dots\dots (6)$$

$$W_p = \frac{\pi}{16} \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right) \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

- $W_p$  : momen tahanan puntir, mm<sup>3</sup>
- $\bar{\tau}_p$  : tegangan puntir, N/mm<sup>2</sup>

Tegangan puntir ( $\bar{\tau}_p$ ) juga perlu dikoreksi dengan faktor keamanan 3 kali lipat dan kemudian dibandingkan batas tegangan material yang diijinkan ( $\bar{\sigma}_t$ ). Batas tegangan puntir diasumsikan sama dengan setengah tegangan tarik, sebagai berikut :

$$3\bar{\tau}_p \leq \frac{\bar{\sigma}_t}{2} \dots\dots\dots (8)$$

### 3. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Kegiatan desain diawali dengan menetapkan nilai sebagai asumsi awal, yaitu panjang tangkai 1 = 150 mm, tangkai 2 = 150 mm, tangkai 3 = 150 mm dan panjang tangkai 4 = 150 mm. Beban yang bekerja pada lengan adalah 100 kg. Bahan yang digunakan adalah S40C. Bahan ini mempunyai batas tegangan tarik sebesar 62 kg/mm<sup>2</sup> dengan tegangan tarik ijin sebesar 31 kg/mm<sup>2</sup>, bila nilai *safety factor* yang diambil sebesar 2. Persamaan 1, 2 dan 3 digunakan untuk menghitung diameter lengan dan ketebalan yang diperlukan. Tangkai 1, 2, 3 dan 4 didesain dengan diameter berbeda sesuai dengan beban yang harus ditopang. Metode *trial and error* ini digunakan dan hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan tegangan bengkok pada tangkai *renograf* dengan panjang = 150, 300, 450 dan 600 mm

No	Komponen	Panjang (mm)	Diameter luar (mm)	Tebal minimum (mm)	Wb (mm <sup>3</sup> )	$3\sigma_b$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	Tangkai 1	150	60.3	3.9	9182.2	4,9
2	Tangkai 2	150	48.2	3.7	5342.8	8,4
3	Tangkai 3	150	42.1	3.6	3854.4	11,7
4	Tangkai 4	150	33.4	2.8	1885.5	23.9

Untuk tangkai 1 momen tahanan bengkok  $W_b = 9182,2 \text{ mm}^3$ . Untuk tangkai 2, momen tahanan bengkok  $W_b = 5342,8 \text{ mm}^3$ . Untuk tangkai 3, momen tahanan bengkok  $W_b = 3854,4 \text{ mm}^3$ , dan untuk tangkai 4, momen tahanan bengkok  $W_b = 1885,5 \text{ mm}^3$ . Dengan demikian dihasilkan diameter lengan *renograf thyroid uptake* untuk tangkai 1, 2, 3 dan 4 secara berturut-turut, yaitu Ø60 mm, Ø48 mm, Ø42 mm dan Ø33 mm. Dari tabel 1 diperoleh harga  $3\sigma_b$  dari tangkai 1, 2, 3 dan 4 sebesar 4,9 kg/mm<sup>2</sup>, 8,4 kg/mm<sup>2</sup>, 11,7 kg/mm<sup>2</sup> dan 23.9 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan harga tegangan tarik ijin  $\bar{\sigma}_t = 31 \text{ kg/mm}^2$ , sehingga bila dibandingkan harga tegangan tersebut desain dapat dianggap aman, karena memenuhi persamaan berikut :  $3\sigma_b \leq \bar{\sigma}_t$ , yaitu  $23,9 \text{ kg/mm}^2 \leq 31 \text{ kg/mm}^2$ . Untuk perhitungan terhadap tangkai *renograf thyroid uptake* dilakukan terhadap kemungkinan terjadinya *displacement* (y) terhadap lengan yang berada pada posisi horisontal dan tegak lurus terhadap kolom vertikal sebagai berikut :

$$y = \frac{F.l^3}{3.E.I}$$

Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2, berikut :

Tabel 2. Perhitungan *displacement* (y) pada tangkai

No.	Komponen	Panjang (mm)	Diameter luar (mm)	Tebal minimum (mm)	E (kg/mm <sup>2</sup> )	I (mm <sup>4</sup> )	y (mm)
1.	Tangkai 1	600	60.3	3.9	20000	276958.7	0.13
2.	Tangkai 2	450	48.3	3.7	20000	128922.4	0.12
3.	Tangkai 3	300	42.2	3.6	20000	81297.6	0.06
4.	Tangkai 4	150	33.4	2.8	20000	31489.4	0.02

Tabel 2 menunjukkan perhitungan dari panjang tangkai 1 dengan ukuran OD = 60,3 mm, tangkai 2 dengan ukuran OD = 48,3 mm, tangkai 3 dengan ukuran OD 42,2 mm, dan tangkai 4 dengan ukuran OD = 33,4 mm, diperoleh harga *displacement* antara tangkai 1, 2, 3, dan 4 yang berbeda. Hal tersebut terjadi karena tangkai 4 pendek hanya sepanjang 150 mm, menghasilkan  $y = 0,02$  mm sedangkan tangkai 1 sepanjang 600 mm, tangkainya lebih panjang dan menghasilkan  $y = 0,13$  mm, sehingga *displacement* maksimum yang terjadi pada lengan renograf hanya sebesar  $y = 0,13$  mm.

Untuk hasil perhitungan tegangan puntir pada poros penghubung dan tangkai putar disajikan pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil perhitungan tegangan puntir pada tangkai *renograf* dengan panjang = 150, 300 mm

No	Komponen	Panjang (mm)	Diameter luar (mm)	Tebal minimum (mm)	$W_p$ (mm <sup>3</sup> )	$3\tau_p$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	Tangkai 1	150	33,4	2,8	3771,1	11,9
2	Tangkai 2	300	42,2	3,6	7708,9	11,7

Dari Tabel 1 perhitungan dilakukan dengan pembebanan terhadap lengan sebesar 100 kg. Untuk tangkai 1 momen tahanan puntir  $W_p = 3771,1$  mm<sup>3</sup>. Untuk tangkai 2, momen tahanan bengkok  $W_p = 7708,9$  mm<sup>3</sup>. Harga  $3\tau_p$  dari tangkai 1 dan 2 sebesar 11,9 kg/mm<sup>2</sup> dan 11,7 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan harga tegangan tarik ijin  $\bar{\sigma}_t = 31$  kg/mm<sup>2</sup>, sehingga bila dibandingkan harga tegangan tersebut desain dapat dianggap aman, karena memenuhi persamaan berikut :  $3\tau_p \leq \frac{\bar{\sigma}_t}{2}$ , yaitu  $11,9 \text{ kg/mm}^2 \leq 15,5 \text{ kg/mm}^2$ .

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap lengan *renograf thyroid uptake* terpadu dihasilkan diameter tangkai 1, 2, 3 dan 4 sebesar Ø60 mm, Ø48 mm, Ø42 mm dan Ø33 mm. Hasil perhitungan menunjukkan *displacement* maksimum sebesar 0,13 mm, tegangan bengkok  $3\sigma_b$  pada tangkai 2 sebesar 23,9 kg/mm<sup>2</sup> dan tegangan puntir ( $3\tau_p$ ) pada tangkai 1 sebesar 11,9 kg/mm<sup>2</sup>. Tegangan - tegangan yang terjadi pada lengan *renograf thyroid uptake* dapat dianggap aman, karena nilai tegangan bengkok dan tegangan puntir yang terjadi lebih kecil dari nilai tegangan tarik ijin bahan, sehingga konstruksi lengan *renograf thyroid uptake* bisa dijamin keamanannya.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hanoto, dkk, 1984, *Ilmu Kekuatan Bahan*, PEDC Bandung.
- [2]. Sularso, Kiyokatsu Suga, 1997, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3]. MHD. Daud Pinem, ST., MT. , 2013, *Ansys Analisis Sistem Mekanik*, Wahana Ilmu Kita, Bandung.
- [4]. Saeed Moaveni, 2008, *Finite Element Analysis, Theory and Application with Ansys*, Pearson Prentice Hall, Canada.
- [5]. Sanda, 2013, *Evaluasi Rancangan Mekanik Perangkat Renograf Thyroid Uptake Terpadu*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir VIII – PTKMR BATAN, Jakarta.

- [6]. Sanda, Benar Bukit dan Edi Purwanta, 19 November 2014, *Perhitungan Dimensi Lengan pada Beberapa Alternatif Model Perancangan Renograp Thyroid Uptake Terpadu*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Perekayasaan Fasilitas Nuklir, PRFN – BATAN.